

## ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ВУЗЛА СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ АГРЕСИВНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД

*Проведені моніторингові дослідження якості підземних вод у 85 населених пунктах восьми областей України показали, що у 63 випадках вони характеризуються різним ступенем агресивності по відношенню до металу та бетону. Діючі станції знезалізнення не розраховані на проведення стабілізаційної обробки води, яка при транспортуванні до споживачів піддається повторному забрудненню продуктами корозії. Досліджена технологія та обладнання дозволяють проводити стабілізаційну обробку води та нароцування захисного шару із карбонатів на внутрішній поверхні металевих трубопроводів. В результаті виробничих випробувань отримані оптимальні дози реагентів.*

**Ключові слова:** агресивні підземні води, стабілізаційна обробка, індекс Ланжельє

### Постановка проблеми

У системах водопостачання більшості населених пунктів України водопровідні мережі складаються в основному із металевих, чавунних та залізобетонних трубопроводів [1]. Більшість з яких не має як зовнішнього так і внутрішнього антикорозійного покриття [1]. Враховуючи агресивність підземних вод це призводить до інтенсивної корозії трубопроводів, погіршенню якості води яка транспортується та підвищенню аварійності (до 1 – 4 аварій на 1 км трубопроводу), що у 5 – 40 разів перевищує відповідні показники країн Західної Європи [1].

Проведений нами моніторинг параметрів якості води на більш ніж на 50 водозаборах в Рівненській та 20 у Волинській областях показав, що лише 8% із них в першій та 47% в другій області не потребує спеціальної стабілізаційної обробки. На основі проведених сумісних досліджень із фізико-хімічною лабораторією Рівненської обласної санепідстанції була встановлена тенденція щодо підвищення ступеня агресивності підземних вод у ряді районів Рівненської області в період з 2001 по 2014 роки [2].

Більшість існуючих в Україні станцій знезалізнення було введено в експлуатацію в середині 70-х років XX століття та не передбачають проведення стабілізаційної обробки фільтрату [3]. При подачі такої води в систему водопровідних мереж населених пунктів спостерігалось її повторне забруднення продуктами корозії із збільшенням концентрації заліза, вмісту бактеріальних забруднень, кольоровості, каламутності, запахів [1,2,10].

Таким чином, розробка технології та обладнання для проведення стабілізаційної обробки агресивних підземних вод є досить актуальним питанням сьогодення в системі комунального господарства населених пунктів України.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Докладно теоретичні аспекти визначення ступеня агресивності природних вод висвітлені в роботах Langelier W.F. [4], Stiff Jr. H.A., Davis L.E. [5], В.А. Клячко, І.Е. Апеліцина [6], Stumm W., Morgan J.J. [7], Wojtowicz J.A. [8] та ін. Технологічні та апаратурні проробки процесу стабілізаційної обробки фільтрату розглянуті в роботах Л.А. Кульського [9], М.Г. Журби [10], Л.С. Алексєєва [11] та ін.

Так в роботі [9] визначено основні напрямки проведення стабілізаційної обробки води при від'ємному індексі стабільності: підлучення води вапном або содою, фільтруванням через контактне завантаження із мармурної крихти, видаленням надлишкового діоксиду вуглецю на вентиляторних градирнях.

Використання в якості реагенту підлучення соди доцільно тільки у випадку, якщо вміст у воді іонів  $\text{Ca}^{2+}$  є достатнім для утворення захисної плівки  $\text{CaCO}_3$ . Для станцій невеликої продуктивності рекомендовано застосовування відкритих фільтрів завантажених мармуровою крихтою або доломітом [9]. Лімітуючим фактором для використання цієї технології є концентрація заліза (до  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ), при вищих концентраціях якого спостерігається процес цементації завантаження. Фільтри потребують постійного дозавантаження зернистим активним матеріалом. При використанні в якості основного

елементу технології – вентиляторних градирень, необхідних для видалення надлишкового  $\text{CO}_2$ , витрачається велика кількість електроенергії. За даними [9] для обробки  $1 \text{ м}^3$  води необхідно використовувати  $20 \text{ м}^3$  повітря. Для станцій, продуктивністю до  $50 \text{ кг/добу}$ , приготування вапняного молока рекомендовано проводити у сатураторах подвійного насичення [10]. Для станцій великої продуктивності приготування 5% розчину вапняного молока проводять за допомогою гідравлічних мішалок. Очищення розчину вапняного молока від нерозчинних домішок проводять за допомогою вертикальних відстійників або гідроциклонів [10]. Введення лужних реагентів рекомендовано перед резервуарами чистої води, що може призвести до їх випадіння і погіршенню ефективності процесу утворення карбонатної плівки на внутрішніх стінках трубопроводів.

**Метою цієї статті є дослідження технології та обладнання для стабілізаційної обробки агресивних підземних вод на діючому водозаборі.**

### Виклад основного матеріалу

Дослідження проводилися на водозаборі «Південний» м. Новолинськ у 2005 – 2008 роках в декілька етапів: під час допроектного періоду, а

також в період проведення пусконаладжувальних та моніторингових робіт.

За параметрами якості підземні води відносилися до нейтральних ( $\text{pH } 7,05 - 7,15$ ), із підвищеною бікарбонатною лужністю ( $7,0 - 7,3$ ) та концентрацією загального заліза до  $1,0 \text{ мг/дм}^3$ . Розрахована величина індексу Ланжельє складала  $I_L -0,20 \dots -0,35$ . Присутність сполук заліза передбачала необхідність проведення процесу знезалізнення води перед її стабілізаційною обробкою.

В основі запропонованої технології стабілізаційної обробки води було закладено принцип поступового формування захисної карбонатної плівки на внутрішніх поверхнях напірних водоводів шляхом введення освітленого розчину лужного реагенту – вапняного молока. Проектна технологічна схема (рис.1) включала розчинні баки, освітлювачі – рециркулятори, ємності збору відпрацьованого вапняного розчину, три групи насосів, допоміжне обладнання. Стабілізаційна обробка води здійснювалася наступним чином. В розчинні баки (1) за допомогою ручної талі планувалося завантаження гашеного вапна у вигляді порошку. Баки заповнювалися чистою водою із концентрацією розчину вапняного молока до 30%.

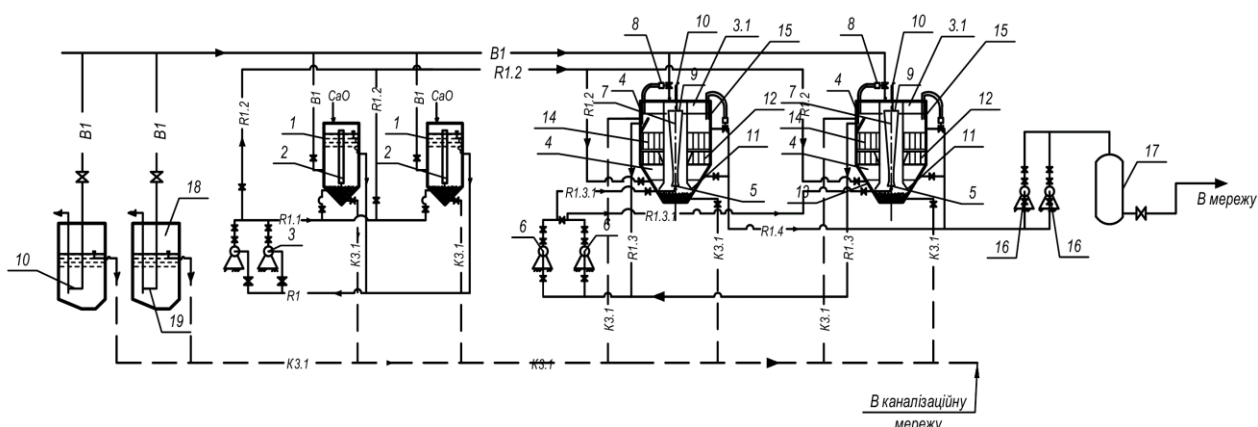


Рис. 1. Технологічна схема вузла стабілізаційної обробки води: 1 – розчинні баки; 2 – гідравлічні мішалки; 3 – циркуляційні насоси розчинних баків; 4 – освітлювачі-рециркулятори; 5 – водоструминний насос; 6 – насоси для рециркуляції робочого розчину; 7 – вертикальний вихровий змішувач; 8 – подача вихідної води; 9 – повітрявідділювач; 10 – скид надлишкового повітря; 11 – система розподільчих труб; 12, 14 – блоки тонкошарових відстійників; 13 – зона накопичення осаду; 15 – ємність освітленого розчину; 16 – насоси-дозатори; 17 – освітлювальний фільтр; 18 – шламозбірники; 19 – гідроселеватори

Для запобігання випадіння карбонату  $\text{Ca}^{2+}$  в осад баки було обладнано системою гідравлічних мішалок (2), які забезпечували 5 – 6 кратний обмін об'єму розчину за годину. Гідравлічні мішалки приводилися в дію насосами (3) типу “Grundfos” SE 1.50.80.40.2.50D. Після приготування розчину вапняного молока необхідної якості, за допомогою насосів (3) здійснювалася його перекачка в нижню

частину освітлювачів-рециркуляторів (4). Об'єм перекачаного вапняного розчину доводився в освітлювачах – рециркуляторах (4) до відмітки верхнього рівня, що відповідає значенню 5% концентрації розчину. Суспензія вапняного молока і карбонатного осаду захоплювалася потоком, який створювався в нижній частині освітлювача-рециркулятора (4) за допомогою водоструминного

насосу (5) і транспортувалася через вертикальний вихровий змішувач (7), обладнаний впускним трубопроводом вихідної води (8). Час контакту складав  $2\div 3$  хв. В верхній частині вихрового змішувача швидкість суспензії, що транспортувалася, зменшувалася, і розчин надходив до повітрявідділювача (9), обладнаного трубою скиду (10) надлишкового повітря. В нижній частині змішувач було обладнано глухим днищем із системою розподільчих труб (11) для рівномірного розподілу висхідного потоку рідини по периметру освітлювача із завислим шаром осаду (4), у верхній частині якого були розташовані блоки тонкошарового відстійника (12) нижнього ярусу. Застосування тонкошарових блоків, розташованих у зоні завислого шару осаду, дозволяло покращити якість освітлення розчину за рахунок затримання крупних частинок осаду. Осад осаджувався на нижній полиці та сповзав в зону накопичення (13), де знову підхоплювався висхідним потоком гідроструминного насосу (5). Частково освітлена вода продовжувала рухатися вгору через блок верхнього тонкошарового відстійника (14) та надходила до ємкості освітленого розчину (15).

Для підтримання рівномірних концентрацій іонів  $\text{Ca}^{2+}$  у розчині в апараті були передбачені два кола його рециркуляції. На стадії приготування розчину використовувався великий його рецикл, при якому розчин відбирався із ємкості освітленого розчину (15) і за допомогою системи технологічних трубопроводів надходив до всмоктуючого патрубку циркуляційного насосу (6), звідки під напором направлялася до сопла гідроструминного насосу (5).

Малий рецикл передбачав циркуляцію концентрованого розчину із осадом карбонату кальцію із під нижнього ярусу блоку тонкошарових відстійників (12) під час перекачки освітленого розчину із бака (15) за допомогою насосів (16) в систему напірних водоводів. Ефективність обробки залежала від того, наскільки добре лужний реагент перемішувався з водою, тому передбачали 4 – 6 кратний обмін об'ємів розчину за годину. Розчин концентрованого вапна в освітлювачах – рециркуляторах було розраховано на 48 годинне використання. Після чого відбувалася його заміна новим розчином, приготовленим в розчинних баках. Ємності - шламовірники (18) було обладнано системою гідралічних мішалок і гідроелеваторів (19) для перекачки шламу до автомобільного транспорту. Освітлювач – рециркулятор було обладнано системою електродів, за допомогою яких відбувається автоматичне переключення його із робочого режиму в режим підготовки розчину і навпаки.

**Розчинні баки** представляли собою круглі в плані ємності виконані із нержавіючої сталі

діаметром і висотою 1400 мм із конічним днищем з кутом нахилу  $50^\circ$  до горизонту.

**Освітлювач – рециркулятор** призначений для інтенсифікації процесу насичення розчину іонами  $\text{Ca}^{2+}$ , з наступним розділенням фаз. Представляли собою прямокутні в плані резервуари ( $2300\times 2800$  мм), з пірамідальною частиною, висотою 1600 мм. Загальна висота освітлювача – рециркулятора становила 3200 мм. Кут нахилу бокових стінок усіченої піраміди до горизонту  $60^\circ$ . Освітлювачі – рециркулятори були обладнані системою гідралічних мішалок, водоструминних насосів, гідромеханічними змішувачами водоворотного типу, повітрявідділювачем, освітлювачами зі зваженим шаром осаду, блоками тонкошарових відстійників і зоною збору освітленого розчину, а також системою електродів рівня. Тонкошаровий відстійник складався із блок-модулів, довжиною полки відповідно  $l_n=1100 - 1200\text{мм}$ ;  $l_b=500 - 600\text{мм}$ , кут нахилу пластин  $60^\circ$ , напрямок руху води – висхідний, відстань між пластинами  $40\div 50\text{мм}$ . Забір води здійснювався з внутрішніх карманів, розташованих в інертних зонах, верхнього ярусу тонкошарових відстійників. В комплект до апаратів входили два робочих та один резервний насоси марки НД200-100-80И, призначених для гідралічної циркуляції розчину в установках. Для дозування освітленого розчину до напірних трубопроводів використовували насоси марки Lavara, обладнані системою автоматики, яка підтримувала значення рН в верхній частині освітлювача-рециркулятора в межах 9 – 9,4 одиниці. Тиск на виході насосів-дозаторів повинен був бути не меншим за тиск, який створювали насоси II-го підйому у напірних водоводах.

На рис. 3 наведена динаміка зміни витрат насосів дозаторів Lavara в залежності від зміни водоспоживання в місті в період з 02.06 по 30.09.08. В середньому, за наведений період досліджень, співвідношення витрат складало  $30 - 33 \text{ м}^3/\text{год}$  води від НС-II на  $1 \text{ м}^3/\text{год}$  освітленого розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . При збільшенні витрат води по водоводах автоматично збільшувалася витрата насосів-дозаторів.

На рис. 4 наведено результати досліджень щодо зміни параметрів якості води на виході з водозабору після стабілізаційної обробки води. Як видно із наведених даних, в обробленій воді насамперед підвищувалися концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$  (до  $105 - 134 \text{ мг/дм}^3$ ) та загальний солевміст до  $460 - 518 \text{ мг/дм}^3$ .

Динаміка зміни рН спостерігалась в межах збільшення на  $0,1 - 0,2$  одиниці. За індексом Ланжелє вода була стабільною по відношенню до карбонатної плівки на стінках напірних водоводів. За результатами проведених досліджень було

встановлено дози лужного реагенту в залежності від якості вихідної води і продуктивності водозабору, яка коливалась за годинами доби. Після формування

захисної плівки для її збереження обробка води повинна забезпечити індекс насичення близький до нуля, і дози реагенту становили 20 – 23 мг/дм<sup>3</sup>.

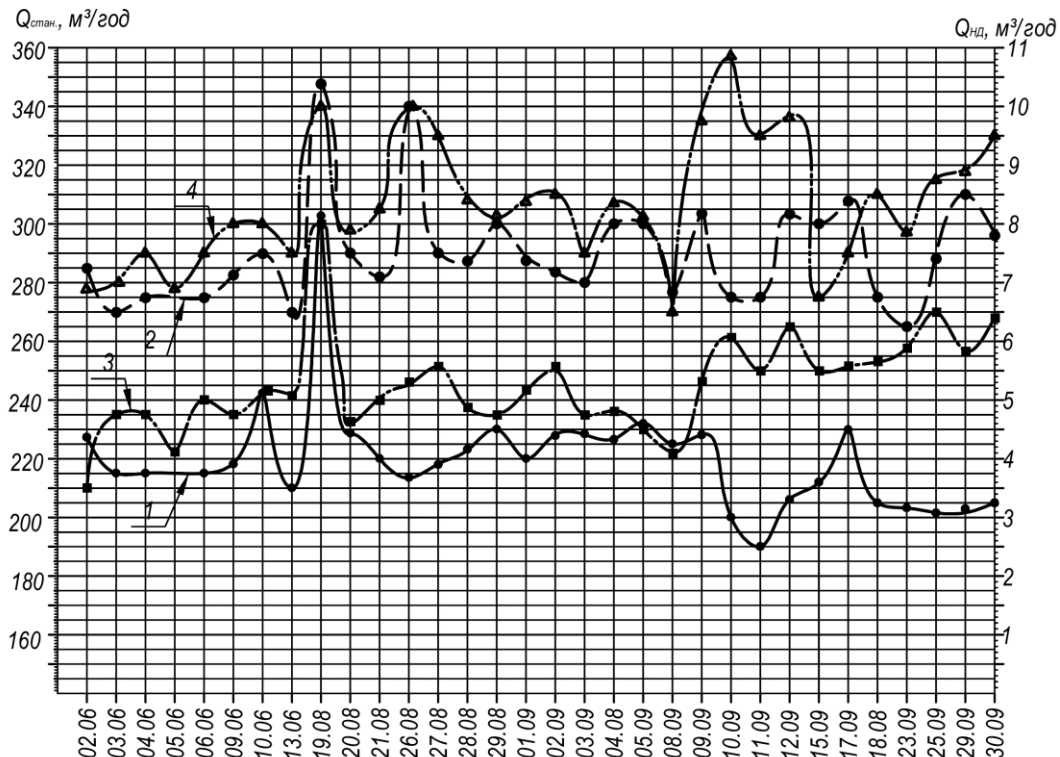


Рис. 3. Залежність змін витрат насосів-дозаторів від загальної витрати води яка транспортувалась по напірним водоводам господарсько-питного призначення в період проведення досліджень з 02.06 по 30.09.08 за напрямками: 1 – водовід №1, м<sup>3</sup>/год; 3 – водовід №2, м<sup>3</sup>/год; витрата насосів-дозаторів за напрямками: 2 – водовід №1, м<sup>3</sup>/год; 4 – водовід №2 м<sup>3</sup>/год .

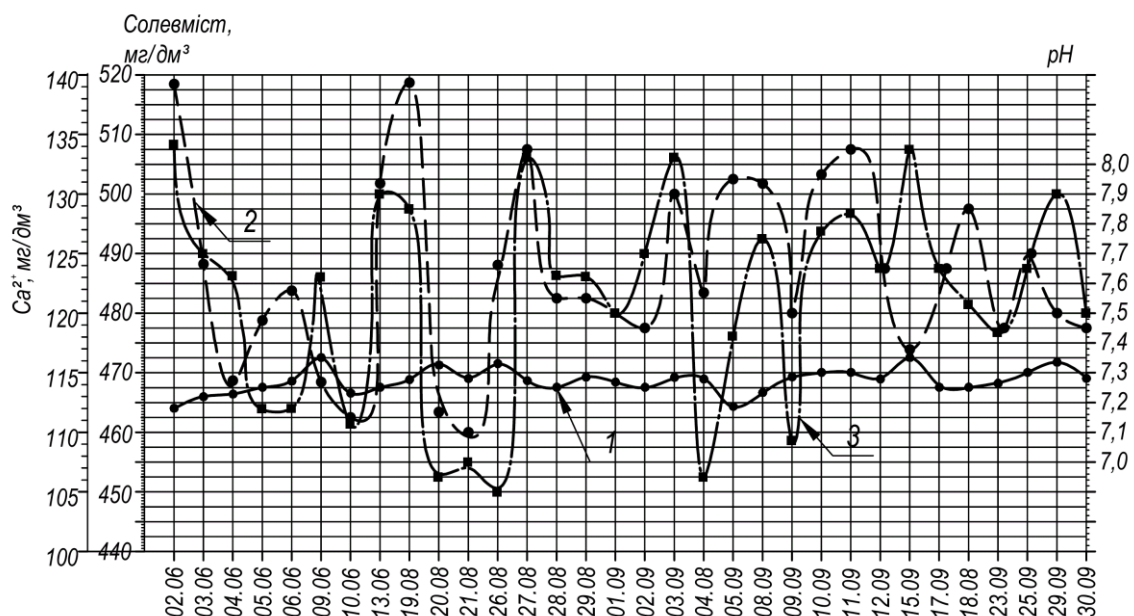


Рис. 4. Зміна параметрів якості стабілізованої води в напірних водоводах господарсько-питного призначення впродовж періоду проведення досліджень з 02.06 по 30.09.08: 1 – зміна величини pH; 2 – зміна загального солевмісту, мг/дм<sup>3</sup>; 3 – зміна концентрації іонів Ca<sup>2+</sup>.

На рис. 5 наведено результати досліджень змін параметрів індексів стабільності води в напірних водоводах після її стабілізаційної обробки. Із

наведених результатів досліджень видно, що впроваджені технологія та обладнання дозволяли постійно підтримувати нейтральний рівень



стабільності води в напірних водоводах, не зважаючи на зміни параметрів якості води та величини витрат. Цьому сприяла конструкція освітлювачів-рециркуляторів із системою автоматики, яка дозволяла контролювати величину рН робочого розчину, рівні робочого розчину у баках, ступінь відкриття – закриття засувки на

технологічних трубопроводах, включення-виключення циркуляційних насосів та насосів-дозаторів в залежності від режимів роботи основного обладнання. Контролери рівня рН дозволяли регулювати витрату насосів-дозаторів в залежності від витрат насосної станції II підйому.

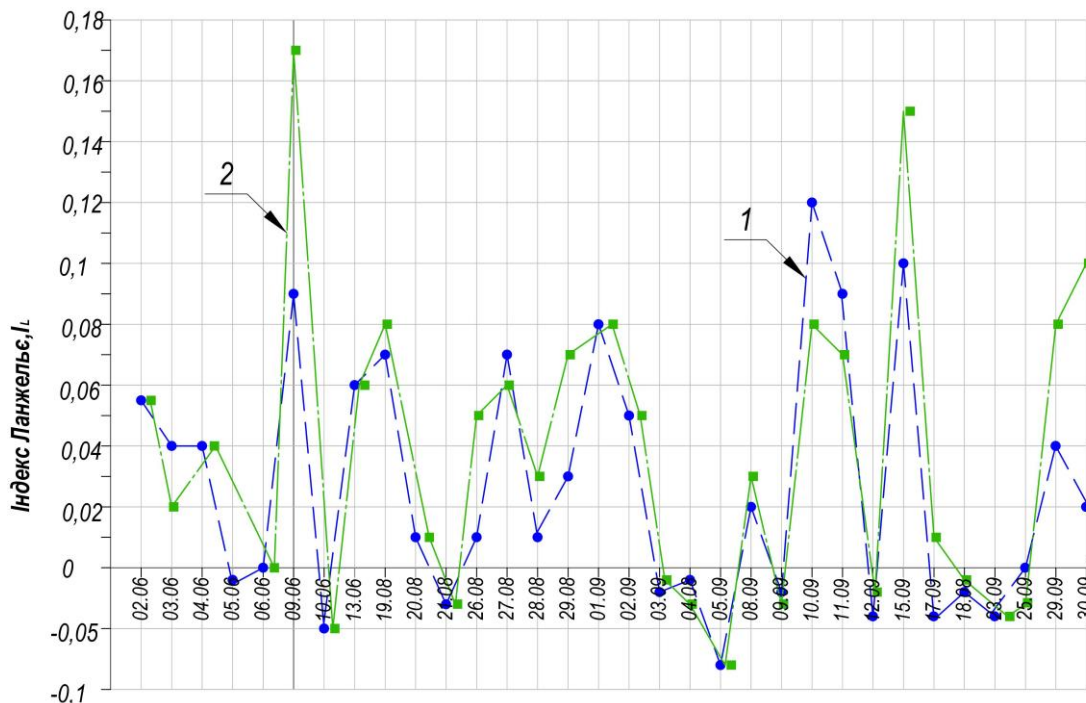


Рис.5. Зміни параметрів стабільності води за індексом Ланжелєс протягом дослідженого періоду в напірних водоводах: 1 – №1; 2 – №2

## Висновки

Впроваджена технологія стабілізаційної обробки води дозволяла коригувати її агресивні властивості в залежності від змін параметрів якості та витрат. В результаті проведених досліджень були визначені оптимальні концентрації лужного реагенту як для нарощування захисної карбонатної плівки на внутрішній поверхні напірних водоводів ( $37 - 40 \text{ мг/дм}^3$ ), так і для підтримання параметрів якості води у стабільному стані ( $20 - 23 \text{ мг/дм}^3$ ). Визначені співвідношення витрат води від НС II та освітленого робочого розчину  $\text{Ca(OH)}_2$  які знаходилися в межах  $30 - 33 \text{ м}^3/\text{год}$  води на  $1 \text{ м}^3/\text{год}$  освітленого розчину.

## Література

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2003 році [Текст] / М. М. Гіроль, С. Б. Проценко, В. С. Кравченко та ін., під заг. ред. М. М. Гіроля. – Рівне: ВАТ Рівненська друкарня, 2005. – 143 с.
2. Квартенко, О.М. Аналіз ступеня агресивності підземних вод Рівненської області. [Текст] / О.М. Квартенко, Р.В. Сафонов // Вісник НУВГП. Збірник

наукових праць. – 2015.т - Випуск1(69). Технічні науки. - Рівне 2015. С. 58-66.

3. Орлов, В. О. Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням. [Текст] / В. О. Орлов. – Рівне: НУВГП, 2008. – 158с.
4. Langelier, W. (1936). The Analytical Control of Anticorrosion Water Treatment. *Journal of American Water Works Association*, 28, 1500–1521.
5. Stiff, Jr., Davis, L. (1952). A Method For Predicting The Tendency of Oil Field Water to Deposit Calcium Carbonate, *Pet. Trans. AIME* 1952, 213.
6. Клячко, В.А. Очистка природных вод [Текст] / В.А. Клячко, И. Э. Апельцин // Издательство по строительству.:М. 1971, с. 579
7. Stumm, W. and Morgan, J. (1981). *Aquatic Chemistry*. New York, NY: John Wiley & Sons.
8. Wojtowicz, J. (1995). "Swimming Pool Water Balance – Part 1: Effect of Cyanuric Acid and Other Interferences on Carbonate Alkalinity Measurement." *Journal of the Swimming Pool and Spa Industry*, 1, 6–12.
9. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод [Текст] / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. - Головное изд-во издательского объединения "Виша школа", 1986, с.185.
10. Журба, М.Г. Водоснабжение. Улучшение качества воды. [Текст]: учебник для вузов. Том 2/ Журба М.Г., Говорова Ж.М.- М.: Издательство АСВ. – 2008. – С.544.
11. Алексеев, Л. С. Совершенствование методов стабилизационной водообработки для регламентирования

качества и расхода воды в агропромышленном комплексе [Текст]: дисс. д-ра технических наук. - М.: 2006, с. 330.

### References

1. Gyrol, M., Protsenko, S., Kravchenko V. (2005). The National Report on the Quality of Drinking Water and the State of Drinking Water Supply in Ukraine in 2003, 143.
2. Kvartenko, O.M., Safonov, R.V. (2015). Analysis of the degree of aggressiveness of groundwater of the Rivne region. *Bulletin of NUWEE. Collection of scientific works*, 69, 58-66.
3. Orlov, V.O. (2008). Deironing of groundwater by simplified aeration and filtration, 158.
4. Langelier, W. (1936). The Analytical Control of Anticorrosion Water Treatmen. *Journal of American Water Works Association*, 28, 1500-1521.
5. Stiff, Jr., Davis, L. (1952). A Method For Predicting The Tendency of Oil Field Water to Deposit Calcium Carbonate, *Pet. Trans. AIME* 1952, 213.
6. Klyachko, V., Apeltsin I. (1971). Purification of natural waters. *Publishing house*, 579.
7. Stumm, W. and Morgan, J. (1981). *Aquatic Chemistry*. New York, NY: John Wiley & Sons.
8. Wojtowicz, J. (1995). "Swimming Pool Water Balance – Part 1: Effect of Cyanuric Acid and Other Interferences on

Carbonate Alkalinity Measurement." *Journal of the Swimming Pool and Spa Industry*, 1, 6-12.

9. Kulsky, L., Strokach, P. (1986). Technology of natural water purification. *Head Publishing House of the Publishing Association "Visha School"*, 185.
10. Zhurba, M., Govorova, Zh. (2008). Water supply. Improvement of water quality. *Textbook for high schools*. 2, 544.
11. Alekseev, L. (2006). Improving the methods of stabilizing water treatment for regulating the quality and flow of water in the agro-industrial complex, Diss. Doctor of Technical Sciences. M, p. 330.

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.А. Ткачук, Національний університет водного господарства та природокористування, Україна

**Автор:** КВАРТЕНКО Олександр Миколайович, кандидат технічних наук., доцент  
Національний університет водного господарства та природокористування  
E-mail - o.m.kvartenko@nuwm.edu.ua  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5634-1128>

## TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF THE STATION STABILIZING THE TREATMENT OF AGGRESSIVE UNDERGROUND WATERS

A. Kvartenko

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne city, Ukraine

Monitoring researches carried out on the quality of underground waters in 83 localities of eight regions in Ukraine showed that in 63 cases they were characterized by different degree of aggressiveness in relation to metal and concrete. Acting stations of deferrization are not designed for conducting the stabilization treatment of water which in being transported to consumers is undergoing the recurrent pollution by corrosion products. The aim of the paper is the development of the technology and equipment for the stabilization treatment of aggressive underground waters at the working water intake with the capacity of 8000 m<sup>3</sup>/day and night. By parameters of the quality underground waters belong to neutral ones (pH 7,05 - 7,15), with increased bicarbonate alkalinity (7,0 - 7,3) and compounds of ferrum (0,15 - 1,0 mg/dm<sup>3</sup>), with a calculated stability index  $I_L$  - 0,20 ... - 0,35. The basis of suggested technology was the principle of subsequent formation of the protective carbonate film on inner surfaces of pressure pipelines by way of introducing the clarified solution of alkaline reagent - lime milk. The technological scheme included solution tanks, clarifiers - regulators, capacities for collecting worked-out lime solution, three groups of pumps, additional equipment. As a result of researches carried out optimal concentrations were determined of alkaline reagent both for growing the protective carbonate film on the inner surface of pressure waterlines (37 - 40 mg/dm<sup>3</sup>) and for keeping the parameters of water quality in a stable state (20 - 23 mg/dm<sup>3</sup>). The optimal content was determined of cations Ca<sup>2+</sup> (800 - 1200 mg/dm<sup>3</sup>), values of pH (10 - 11) and the optimal quantity of recycles of operating solution in clarifiers-regulators (n=6), and also the interrelationship of water consumptions on PC II to operating solution Ca(OH)<sub>2</sub> which are within the boundaries of 30 - 33 m<sup>3</sup>/hour of water per 1 m<sup>3</sup>/hour of clarified solution.

**Keywords:** aggressive groundwater, stabilization treatment, Langelier index